我国东北黑土地保护与肥力提升的成效与建议

韩晓增* 邹文秀

中国科学院东北地理与农业生态研究所 哈尔滨 150081

摘要 我国东北黑土地是世界上最肥沃的土壤，土壤环境质量良好，适合优质农产品生产。黑土地开垦时间约200年，但是土壤肥力发生了巨大变化。开垦后大约经历了30年有机质含量快速下降期，使土壤中氮、磷和钾的比例更适合作物生长且肥力不断的提高；此后，土壤有机质呈现缓慢下降的趋势，土壤肥力也随之下降，这部分土壤有机质流失导致了黑土地退化。政府先后采取了多项黑土保护措施，获得了初步成效。建议进一步深化黑土地的科学技术研究；强化黑土保护政策的可持续性；建立可靠的野外监测网络，积累有价值的基础数据；实行黑土地保护的科技-管理-生产三位一体方式，实现全民保护黑土地。

关键词 东北黑土保护，现状与问题，肥力提升，成效与建议

DOI 10.16418/j.issn.1000-3045.2018.02.011

我国东北黑土地主要分布在黑龙江、吉林、辽宁和内蒙古东四盟，总面积124.4万平方公里[1-5]。黑土地主要是在温带和寒温带草原化草甸植被下形成的一类表层含有暗色腐殖化物质的土壤，俗称“黑土地”，美国土壤分类系统称为“软土”，中国土壤分类系统称为“均腐土”。黑土地在全球范围内面积约900万平方公里，占陆地总面积的7%，集中分布在俄罗斯大平原、美国密西西比河流域和我国东北平原[6]。黑土地是由中国土壤发生分类的黑土、黑钙土、白浆土、草甸土、棕壤和暗棕壤等土类组成，是世界上最肥沃的土壤。东北黑土地是我国粮食安全的压舱石，粮食产量占全国的1/4，商品量占全国的1/4，调出量占全国的1/3[7]。

黑土地的开发始于清朝末期，开垦极为缓慢，均是在地形适宜的肥沃平原上采用原始的人畜方式开垦。第一次黑土地大面积开垦始于20世纪50年代末至60年代初，主要是由转业官兵成建制来到了松嫩平原的中北部和三江平原，开垦地势相对平坦但交通不便的肥沃黑土地。20世纪60年代末至70年代，大量的城市“知识青年”也来到了这个地区继续开垦。此时大面积的草地、林地和湿地已经被开垦，大量坡地的草木被砍伐一空，

*通讯作者
资助项目：国家重点研发计划（2016YFD0300806），中国科学院科技服务网络计划（STS计划）（KFJ-SW-STS-142）
修改稿收到日期：2018年1月28日

大量的湿地变成了耕地。开垦初期错误地认为肥沃的黑土地可以在没有任何投入的情况下持续利用，进而以掠夺性生产方式贯穿整个黑土地开垦过程，导致东北黑土地质量快速下降，生产上必须依赖投入大量化肥才能获得高产。因此，如何能更好地保护黑土地，又能不断地提高黑土地的质量，满足国家粮食安全和生态安全的双重需求，是亟待解决的重大问题。

1 黑土质量现状与存在的问题

1.1 开垦后期土壤有机质含量降低导致耕地地力下降

自然黑土是在第三纪、第四纪更新世或者全新世的砂砾和黏土层上发育的土壤，其在雨热同季的气候下，形成了茂密的植被层，然后因迅速转冷而结冰，土壤表层有机物质的积累大于分解，经过几千年的时间形成了深厚肥沃的黑土层。黑土开垦后的土壤质量变化大致经历了两个阶段（图1）。

第一个阶段是农田作物代替了自然植被，由于作物的秸秆和籽粒移除土壤和耕作，导致土壤有机质快速分解，分解过程中释放的氮、磷和钾有利于作物生长，土壤肥力不断增强。这一阶段大约经历了30年，此时东北北部地区土壤有机质每年下降速度为1.5%—2.6%，东北南部地区每年下降速度为0.5%—0.7%。

第二阶段为稳定性农业利用阶段，土壤有机质平均以每年0.1%左右速度下降，这个阶段虽然有机质下降的速度变慢，但是对土壤肥力的影响是至关重要的。当其他生产条件相同的情况下，土壤有机质含量每下降0.5%，作物产量则下降15.0%甚至更多。为了保住农作物产量，农民不得不大量使用化肥；然而，化肥投入

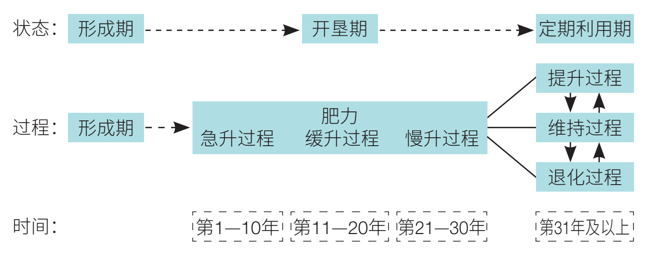


图1 自然黑土土壤向农田土壤过渡的肥力变化过程

量越来越高，其利用率却不断下降。

1.2 坡耕地水土流严重

水土流失主要是指将肥沃的黑土层流失殆尽，土壤亚表层或者黄土状母质露出地表，从而导致地表土壤有机质含量显著下降，降低了土壤生产力，甚至使部分土壤丧失生产能力。黑土地是由坡度小、坡面长的漫川漫岗所组成的。开垦初期，大于3.0°坡的地形，经常发生剧烈的面蚀和沟蚀，二者交替进行。我国东北黑土地开垦的前10年，每年平均流失土层厚度在1.0—3.0 cm；而随着开垦年限的延长和农民采取了水保措施，目前每年流失量在1.0—3.0 mm之间。水土流失导致农田干旱，作物利用大气降水能力降低，表层所含的有机质和营养元素迁移导致土壤贫瘠；农民为了降低这部分损失，加大了化肥使用量，与平地相比，坡耕地化肥施用量增加了30%左右，而未被利用的化肥一部分进入水体污染环境。

1.3 黑土地环境质量存在着潜在被污染的风险

我国东北黑土地比较洁净，除了辽河流域少部分区域外，其他地区土壤基本没有污染，是我国重要的有机农产品生产基地。由于气候寒冷，种植业复种指数低，病虫草害发生程度较轻，农药使用量相对较小，目前为止还没有出现大面积有机氯农药、多环芳烃、多氯联苯和硝基芳香化合物的污染，仅局部地区有少量的点源污染。在土壤成土母质中，重金属含量比较低，加上耕地地形条件和一年一季的生产方式，到目前为止土壤比较健康。对22个典型市县的土壤样品中镉（Cd）、铅（Pb）、铜（Cu）和锌（Zn）进行检测分析，4种重金属的检出范围依次为0.13—2.31 mg/kg、10.52—57.48 mg/kg、42.13—227.10 mg/kg和9.95—46.18 mg/kg[8]。在4种重金属变化值范围内，高端数值的土壤样品全部来自于城市周边土壤和设施蔬菜土壤，说明我国东北黑土地虽然土壤环境质量相对较好，但也有潜在污染发生的可能性，在环境保护方面仍然需要给予足够的重视。

2 黑土地保护措施的调控成效与亟待解决的问题

为了保护东北黑土地这个世界性的珍贵土地资源和建立优质农产品生产基地，中央和地方政府先后实施了中低产田改造、沃土工程、测土配方施肥和黑土地保护工程，以多样化的方式开展了黑土地的保护和肥力提升工作，取得了显著成效，但同时仍存在一些亟待解决的问题。

2.1 秸秆还田技术成效

目前，东北黑土地秸秆还田方式主要包括秸秆覆盖还田、混土还田和秸秆离田沤制有机肥还田等3种方式。

秸秆覆盖还田包括全免耕全覆盖还田和间隔免耕间隔覆盖两种。秸秆全免耕-全覆盖还田最早是由张晓平[9]于2002年在东北区开展的一项技术，同时引进了相应的农业机具并国产化。该项技术对于保护土壤水分、控制水土流失和减少秸秆在田间燃烧污染环境方面起到了引领的作用。但是由于秸秆地面覆盖后，土壤解冻提温慢，影响种子发芽出苗，同时存在春季播种困难等问题，该项技术应用受到了限制；秸秆覆盖后在地面腐解，腐解物与土壤接触受限，分解后以气体的形式直接进入大气，或者在地表0—5 cm内富集，影响土壤有机质在整个土层中的提升。间隔免耕-间隔覆盖技术最早是由吉林农业科学院刘武仁[10]于1999年提出，核心技术内容包括玉米宽窄行播种，条带间隔深松，玉米秸秆全量还田方式为条带间隔覆盖。这项技术解决了土壤解冻提温慢、春季播种困难和易跑墒的问题，但是限制提升耕层土壤有机质含量的问题仍然未得到有效解决。

秸秆混土还田包括玉米秸秆深混、浅混和深埋3种技术途径。韩晓增于2005年提出了玉米秸秆深混还田方式。方式一，将秸秆深混到20—35 cm土层中，秸秆的腐殖化系数0.13，半腐解物残存率提高了16.7%；该方式的优点是保水、改土、快速提升亚耕层土壤有机质含量。方式二，将秸秆深混到0—35 cm全层，腐殖化系数为0.17，半腐解物的含量提高了16.9%[11,12]。玉米秸秆连续还田3年，黑土地0—35 cm表层有机质含量增加了1.47 g/kg，平均增加29%以上；对于保护黑土层、保护土壤水分和提高春季土壤温度均具有较好的效果。秸秆浅混还田是将秸秆还入0—15 cm左右表层土壤中，由于还田深度的限制，秸秆与土壤的比例不合理，导致土壤容易跑墒，不利于春季作物出苗。秸秆深埋还田是将秸秆埋入40 cm土层以下，能够增加土壤中某一层土壤有机质的含量，但是不能全层提高土壤有机质含量[13]。

2.2 有机肥还田成效

有机肥在黑土保护中的作用已经得到了广泛认可，其功能主要包括提高土壤养分含量，增加黑土表层腐殖化物质的含量，从而改善土壤的肥力属性，有利于黑土层的保育。来源于人畜粪污和农业生产中废弃的有机物，经过无害化处理后形成了能够培肥土壤的有机物料。不同来源有机物料形成的有机肥，在施用后的腐殖化系数范围为0.3—0.6，加权平均0.36[14]。有机肥对黑土保护作用主要表现在“质”和“量”的差异。当有机肥的有机质含量 > 70.0%（烘干基），施用量在6000±1500 kg/hm^{2}以上时，连续施用3年，黑土地土壤有机质含量能够增加0.9—1.8 g/kg，0—35 cm黑土地表层土壤腐殖化物质增加36.0%以上。有机肥中有机质含量和施用量小于上述阈值，则不能提升黑土层腐殖化物质的含量，仅能改善土壤某些肥力属性，达到短期增产目的[15]。

2.3 作物轮作措施的成效

目前，黑土地区主栽作物包括玉米、大豆和水稻。受气候条件制约，该区域一年一季，水田和旱田不能进行轮作，以旱地作物轮作为主。20世纪80年代以前，以玉米、大豆和小麦轮作为主，也有少部分玉米、大豆和杂粮轮作，基本保持了土壤肥力。从20世纪80年代开始，农业生产开始关注经济效益，却忽视了轮作效应，在黑土地南部玉米连作成为主要种植方式，而北部大豆连作则成为主要种植方式；然而到了2000年以后，受经济效益驱动，玉米连作成了黑土地区域内主要的种植方式。大豆连作对土壤的影响主要表现在增加了土壤中土

传病虫害的发生，加长、加大了土壤有害生物链和生物网，导致土壤生物肥力下降，进而降低大豆产量[16]。在黑土地北部土壤有机质含量较高的地区，玉米连作导致黑土地表层土壤有机质含量下降，连作21年后有机质含量下降了14.7%，土壤容重增加了16.3%，土壤基础肥力降低。

轮作有利于黑土地保护。在玉米-玉米-大豆轮作模式下，黑土层有机质含量增加了0.15 g/kg，比玉米连作条件下土壤有机质提高7.5%，玉米产量提高了11.2%。大豆-玉米轮作比连作玉米土壤有机质含量提高了15.6%，大豆茬比玉米茬土壤水分含量提高了21.5%，速效磷含量提高了16.3%。如果以连作玉米的产量为对照，大豆和玉米两区轮作使玉米增产8.8%；玉米-大豆-小麦三区种植，玉米增产14.1%[17]。

2.4 黑土层保护的技术成效

根据黑土的剖面构型、黑土层的性质、黑土层退化特征以及旱地主栽作物根系在土体中分布和区域的气候条件，研发出黑土层保护技术体系，实现黑土保护与可持续生产并行的效果。在玉米等旱地作物收获后，采用具有秸秆粉碎功能的机具将秸秆破碎抛洒在田面，然后采用螺旋式犁壁犁，将0—35 cm土层旋转90°±30°，均匀将秸秆深混到0—35 cm土层之中[18]。也可以用优质有机肥替代秸秆深混到0—35 cm土层之中，或者秸秆配合优质有机肥深混到0—35 cm土层之中。黑土层保护技术提升黑土表层蓄水能力，饱和含水量达到了210 mm以上，田间持水能力达到了140 mm以上，可以保证99%的单次降水全部储存于土壤之中，并且提高了土壤供水能力[19,20]，有效地调节了区域性的年际间和季节间的降水不均问题。全表层提升土壤腐殖化物质的含量，通过机械深混的功能，实行3次黑土层保护技术后，就能够使0—35 cm土层中每个位点的土壤的位置互换一次，使新加入的秸秆和有机肥能在土壤表层均匀分布，有利于黑土表层有机质的增补和更新。同时由于该项操作是在秋季实行，通过土层互换，使土壤病原菌和虫卵置于土壤表面，经过冻融和太阳紫外线照射，部分病原菌和虫卵会死亡，从而减轻了次年病虫害发生。土层位置互换还可以改善土壤物理结构，活化土壤养分，有利于作物生长发育。

经过近10年的努力，我国东北地区黑土地有机质下降速度过快的问题，已经得到基本控制，目前亟须解决的问题是如何进一步提升、恢复黑土地原有的高肥力属性和定向培育改良一些障碍性属性。

3 黑土地保护的问题与建议

3.1 高度重视大中型养殖场畜禽粪污中的重金属污染黑土地的问题

施用有机肥是保护黑土地的重要方式之一，畜禽粪则是有机肥的重要来源，但是其中的重金属也是东北黑土地重金属污染的重要来源。近年来，东北黑土区大中型养殖场的数量呈增加的趋势。养殖场的畜禽粪污含有超量的重金属，例如，牛粪中重金属Cu和Zn的含量分别是200和800 mg/kg[21]，猪粪中Cu、Zn、镉（Cd）和砷（As）的平均含量分别为506、2088、0.83和9.1 mg/kg；鸡粪中Cu、Zn、Cd和As的平均含量分别是61、429、0.53、11.31 mg/kg[22]。对照国家《农用污泥中污染物控制标准》，可以看出部分受检畜禽粪污重金属超标。重金属超标的畜禽粪污若被作为黑土保护中的有机肥物料培肥土壤，一段时间以后重金属积累增加，土壤就会被严重污染。但是，到目前为止，国内外还没有找到理想的重金属污染土壤的修复方法。如若东北黑土区出现大面积重金属污染，洁净的黑土地将无法生产优质农产品。因此，这个问题是黑土保护过程中的首要问题。肥力退化可以通过土壤管理较快恢复，但是受重金属污染土壤的修复则需要很长的时间，同时还需要投入巨大的人力和财力。

3.2 加强黑土地保护的研究工作，建立科学合理的轮作和土壤耕作制度

建议政府部门和科研机构，以目前我国的黑土保护为目标，开展黑土形成、演化过程和保护性调控机制的长期不间断研究，为国家黑土保护工作提供基础理论的

支撑。在东北黑土区根据气候特点和种植业布局，建立合理轮作制度，充分发挥豆科作物能够改善土壤结构的优势，耦合深翻、浅旋和免耕等耕作措施建立周期性的轮耕制度；通过有机物料（有机肥和秸秆）还田，打破犁底层，增加耕层厚度，提高耕层有机质含量和水养库容，不断促进黑土地质量提升。在东北黑土区的南部建立基于“深（翻）、免（耕）、浅（旋）”耕作组合的玉米连作优化模式，在东北黑土区中部建立基于“一深一浅加两免”耕作组合的米豆轮作模式，在东北黑土区北部建立基于“深、免、浅”耕作组合的米—豆—豆轮作模式。

3.3 强化黑土地保护工作的可持续性

目前，党中央和国务院已经提出了“藏粮于地、藏粮于技”的战略，确立土地所有权、承包权和经营权，为黑土地保护在政策法规方面奠定了基础。实施了两年的东北黑土地保护试点项目已经形成了较为成熟的运行机制，提出的黑土地保护利用技术模式已经初见成效。建议将黑土地保护利用试点项目的运行机制和技术模式进一步提升总结，形成能落地、能复制、能推广的实用性技术，并在东北全区推广应用，形成技术操作规程和指导规范。黑土地保护是一项长期的工作，有效的黑土地保护利用技术需要经多年的努力，才能显现出效果。因此，建议政府部门建立可持续性的黑土地保护利用机制，实现黑土地的可持续利用。

3.4 鼓励土地流转，扩大经营规模，全面推进机械化，配套相应的补贴政策

在东北黑土区，有机物料深混还田是黑土地保护的重要措施之一，有机物料深混全量还田过程中需要大型农机具，作业面积大，一家一户小规模的经营方式不利于大马力拖拉机的使用。建议，东北黑土区加快发展家庭农场（大户）、农民合作社、联合社和农业企业等新型经营主体。通过土地流转的方式，发展多种形式适度规模经营。强化农机配套建设，充分发挥新型经营主体的现代农机装备和规模种植优势，做到与生产规模相匹配。国家对新型经营主体购置大型农机具予以补贴，同时对黑土地保护利用过程中的关键作业环节给予补贴。例如，使用螺旋式犁壁犁进行有机物料深混还田过程需要的机械作业成本补贴为1 500元/公顷。

3.5 加强宣传力度和科技培训强度，提高黑土地保护意识

通过各级媒体报道我国黑土地存在的问题及现状，强调东北黑土区在我国粮食生产尤其是优质农产品的生产中的重要作用，提高黑土地保护的意识，实现黑土地在保护中利用，在利用中保护的长期发展目标。通过举办各级培训班集中培训农技推广人员、新型职业农民、合作社负责人等人员，提高黑土地保护利用的科学水平；通过下乡进村入户巡回培训、科技大集、科普展览、广播电视讲座、技术咨询、网络远程培训、发放技术光盘及技术明白纸等多种手段，广泛开展农民科技普及培训。

3.6 建立可靠的野外监测网络，积累有价值的基础数据

黑土地保护的监测工作已经得到了各级政府的高度重视——通过国家科技部建立了野外农田观测站，通过农业部建立了部属野外观测站，黑土保护项目也建立基于各试点县（市）的监测网络。但是为了统一管理，充分发挥其作用，更有针对性地保护黑土地，建议在农业部耕地质量监测保护中心设立黑土地保护分中心，整合国家科技部、农业部、教育部和中国科学院的有关台站，在隶属关系不变的前提下，实现业务统一指挥的科技体系——将由原县（市）农业技术推广部门负责的监测站点，划归有科技实力的野外观测研究站和机构负责。

3.7 落实科技-管理-生产三位一体，实现技术研发的原创性、系统性和应用性

建议相关立项部门联合设立黑土地保护项目，将项目的科学问题、技术研发、技术设计和项目实施作为一个系统操作。例如，近期农业部立项的东北黑土地保护利用试点项目，科技部就要匹配科学问题研究和技术研

发两部分内容的科研经费。农业部在项目中建立项目设计、项目示范和全试点区域联动的，由科学家参与、政府主导、农民实施的系统方案。在工作的实施过程中力求做到以下两点：① 在立项的全过程中，广泛听取各不同层面的科学家和一线技术工作人员的意见，包括在项目立项过程前进行公示；② 在项目执行过程中，对非保密项目，建议全程公开，监督项目承担人的工作。

参考文献

1 韩贵清, 杨林章. 东北黑土资源利用现状及发展战略. 北京: 中国大地出版社, 2009.

2 姜岩, 杨国荣, 刘炜, 等. 吉林土壤. 北京: 中国农业出版社, 1998.

3 中国科学院林业土壤研究所. 中国东北土壤. 北京: 科学出版社, 1980.

4 熊毅, 李庆奎. 中国土壤. 北京: 科学出版社, 1978.

5 贾文锦. 辽宁土壤. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1992.

6 龚子同. 黑土生金——从俄罗斯治理黑土经验教训看我国黑土的利用. 科学新闻, 2003, (4): 36.

7 韩长赋. 加强东北黑土地保护推进农业绿色发展. 人民日报, 2018-02-05(7).

8 郭观林, 周启星. 中国东北北部黑土重金属污染趋势分析. 中国科学院研究生院学报, 2004, 21(3): 386-391.

9 杨学明, 张晓平, 方华军, 等. 北美保护性耕作及对中国的意义. 应用生态学报, 2004, 15(2): 335-340.

10 刘武仁, 边少锋, 郑金玉, 等. 玉米秸秆还田方法试验研究初报. 吉林农业科学, 2002, 27(6): 38-40.

11 韩晓增, 邹文秀, 王凤仙, 等. 黑土肥沃耕层构建效应. 应用生态学报, 2009, 20(12): 2996-3002.

12 邹文秀, 韩晓增, 陆欣春, 等. 施入不同土层的秸秆腐殖化特征及对玉米产量的影响. 应用生态学报, 2017, 28(2): 563-570.

13 董珊珊, 窦森. 玉米秸秆不同还田方式对黑土有机碳组成和结构特征的影响. 农业环境科学学报, 2017, 36(2): 322-328.

14 张之一. 黑龙江省土壤开垦后土壤有机质含量的变化. 黑龙江八一农垦大学学报, 2010, 22(1): 1-4.

15 韩晓增, 王凤仙, 王凤菊, 等. 长期施用有机肥对黑土肥力及作物产量的影响. 干旱地区农业研究, 2010, 28(1): 66-71.

16 韩晓增, 许艳丽. 大豆重迎茬减产控制. 北京: 科学出版社, 1999.

17 韩天富, 韩晓增. 走粮豆轮作均衡持续丰产的农业发展道路. 大豆科技, 2016, (1): 1-3.

18 韩晓增, 邹文秀, 陆欣春, 等. 旱作土壤耕层及其肥力培育途径. 土壤与作物, 2015, 4 (4) : 145-150.

19 邹文秀, 陆欣春, 韩晓增, 等. 耕作深度及秸秆还田对农田黑土土壤供水能力及作物产量的影响. 土壤与作物, 2016, 5(3): 141-149.

20 韩晓增, 邹文秀, 陆欣春, 等. 构建肥沃耕层对沙性土壤水分物理性质及玉米产量的影响. 土壤与作物, 2017, 6(2): 81-88.

21 王飞, 邱凌, 沈玉君, 等. 华北地区饲料和畜禽粪便中重金属质量分数调查分析. 农业工程学报, 2015, 31(5): 261-267.

22 贾武霞, 文炯, 许望龙, 等. 我国部分城市畜禽粪便中重金属含量及形态分布. 农业环境科学学报, 2016, 35(4): 764-773.

Effects and Suggestions of Black Soil Protection and Soil Fertility Increase in Northeast China

HAN Xiaozeng* ZOU Wenxiu

(Northeast Institute of Agroecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Harbin 150081, China)

Abstract Black soil region in Northeast China is one of the best fertile soil regions, with sound quality soil environment, which favorites agricultural productions. Soil fertility has been changed a lot after black soil has been utilized as farmland for about 200 years. Soil fertility was enhanced in the early period of black soil being reclaimed due to the occurrence of suitable ratio among nitrogen, phosphorous, and potassium, though soil organic carbon (SOC) decreased. Soil fertility was decreased as soil organic carbon decreased after 30 years that black soil had been reclaimed, which resulted in black soil degradation. Chinese government has taken many measures to protect black soil and significantly effect has been observed. Therefore, it is suggested that the research related to black soil protection should be carried on thoroughly, and accompanied policy for black soil protection should be strengthened with sustainability. It is also recommended to establish field observation stations to obtain valuable data, implement the integrated system of technology, management, and production for black soil protection management, finally to realize the overall black soil protection.

Keywords black soil protection, status and problems, fertility increase, effect and suggestions



韩晓增 中国科学院东北地理与农业生态研究所研究员。主要从事黑土地保护研究与示范。*Pedosphere*和《土壤与作物》编委，中国土壤学会理事；享受国务院政府特殊津贴。E-mail：xzhan@iga.ac.cn

HAN Xiaozeng Professor in Northeast Institute of Agroecology and Geography, Chinese Academy of Sciences (CAS), he services as editor for *Pedosphere*, *Soil and Crop*, board member of the Soil Science Society of China, and enjoys the special subsidy from the State Council. His current research interests include black soil protection and sustainable development. E-mail: xzhan@iga.ac.cn

*Corresponding author